

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Н. Здрок

«31» мая 2021 г.

Регистрационный № УД- 9739/уч.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 06 Ядерные физика и технологии**

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 06-2013 и учебного плана № G-31-142/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

В.Г.ШЕПЕЛЕВИЧ — профессор кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

РЕЦЕНЗЕНТ:

О.Н.БЕЛАЯ – доцент кафедры медицинской и биологической физики Белорусского государственного медицинского университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

кафедрой физики твердого тела физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 12 от 12.05.2021);

Ученым Советом физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 10 от 27.05.2021 г.);

Заведующий кафедрой



В.В. Углов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Физические свойства металлов» разработана для специальности 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии.

Цель и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – усвоение студентами закономерностей образования колебательного и электронного спектров металлов, взаимодействия электронов и фононов, их влияния на физические явления, процессы и свойства.

В учебном курсе рассматриваются основные свойства металлов и их зависимости от состава и температуры, проведено описание разнообразных процессов и явлений в металлах, важных для разработки новых материалов, необходимых для успешного развития ядерных технологий и физики металлов.

Задачами учебной дисциплины являются:

- изучение колебаний атомов кристалла, электронных состояний в кристалле и статистики фононов и электронов в металлах;
- изучение тепловых, электрических, термоэлектрических и гальваномагнитных свойств и процессов диффузии.

Применение металлов в различных областях деятельности определяется их физическими свойствами, техническими параметрами и эксплуатационными характеристиками. Физические свойства материалов обусловлены колебаниями атомов и электронами, а также зависят от химического состава и атомной структуры. Понимание связи между колебаниями атомов, электронной структурой и физическими свойствами позволяет целенаправленно разрабатывать и использовать новые материалы, что является важной составляющей в подготовке специалистов в области радиационного материаловедения.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием

Учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализаций компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: дисциплина необходима для использования и развития знаний, изложенных в темах по изучению строения кристаллической решетки кристаллов и формирования фаз, термодинамических свойств материалов реакторных материалов, видов симметрии кристаллов, структурно-фазовых превращений, физических свойств, диаграмм состояния сплавов изложенных в дисциплинах «Кристаллография и дефекты в кристаллах», «Физика твердого тела», «Молекулярная физика», «Квантовая механика» и «Статистическая физика и термодинамика».

Знания, полученные при изучении учебной дисциплины «Физические свойства металлов» будут использованы в учебных дисциплинах «Материалы ядерной техники», «Фазовые превращения в металлах», «Структурно-фазовые превращения в материалах при облучении».

Важной задачей является формирование у студентов навыков самостоятельной исследовательской работы, умения применять полученные научные результаты при создании новых и совершенствовании имеющихся материалов.

В учебной дисциплине приводится теоретическое описание колебаний атомов и движения электронов в металлах, проводится описание тепловых, электрических, термоэлектрических, гальваномагнитных свойств и процессов диффузии. Выполняются лабораторные работы и проводится решение задач по различным разделам дисциплины.

Материал дисциплины основан на знаниях и представлениях, полученных при изучении учебных дисциплин: «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика», «Кристаллография и дефекты в кристаллах» и «Физика твердого тела».

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- закономерности колебаний атомов в периодических структурах в гармоническом приближении (колебательный спектр атомов в простой и сложной одномерных цепочек, трехмерного кристалла, дисперсионные соотношения, осцилляторы и фононы, энергия теплового движения, взаимодействие фононов);

- электронные состояния в кристалле (энергетический спектр электронов, их движение и эффективную массу, плотность состояний в энергетических зонах и зонах Бриллюэна);

- статистику электронов в металлах;

- теплоемкость, тепловое расширение твердых тел, контактные явления;

- процессы переноса в твердых телах;

уметь:

- анализировать колебания атомов в кристаллах, движение электронов
- объяснять влияние колебаний атомов и движения электронов на физические свойства металлов;

- анализировать влияние температуры, химического состава и др. факторов на колебания атомов, электронные состояния и физические свойства металлов;

владеть:

- навыками применения базовых научных знаний для решения научных и практических задач при использовании и создании новых металлов;

- способностями выбирать наиболее эффективные решения при описании свойств металлов;

- умением анализировать и оценивать уровень свойств существующих металлов, организовывать и проводить экспериментальные методы исследования металлов.

Требования к компетенциям

Программа учебной дисциплины составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 06-2013 *специальности 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии*, введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 №88.

Освоение учебной дисциплины «Физические свойства металлов» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций.

Академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-технические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

Социально-личностные компетенции:

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

Профессиональные компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-12. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиями, проектам и решениям.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 8 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Физические свойства металлов» отведено 82 часа, в том числе 40 аудиторных часов, из них: лекции – 32 часа, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 8 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2,5 зачетные единицы.

Форма итоговой аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение

Тема 1.1. **Описание кристалла в обратном пространстве.** Ячейка Вигнера-Зейтца. Обратная решетка. Построение зон Бриллюэна.

Раздел 2. Колебания атомов кристалла

Тема 2.1. **Колебания атомов одномерного кристалла.** Колебания атомов простой одномерной цепочки. Дисперсионное уравнение. Циклические граничные условия Борна-Кармана. Колебания атомов одномерной сложной цепочки. Дисперсионное уравнение. Акустические и оптические колебания.

Тема 2.2. **Колебания атомов трехмерного кристалла.** Уравнение движения атомов кристалла. Акустические и оптические колебания в кристалле. Осцилляторы. Фононы.

Тема 2.3. **Энергия теплового движения атомов кристалла. Взаимодействие фононов.** Расчет спектральной плотности нормальных колебаний по Дебаю. Спектральная плотность нормальных колебаний реального кристалла. Энергия теплового движения атомов кристалла. Взаимодействие фононов.

Раздел 3. Электронные состояния в металлах

Тема 3.1. **Классическая электронная теория.** Достижения классической электронной теории. Недостатки классической электронной теории.

Тема 3.2. **Квантомеханическое описание электронов в кристалле.** Теорема Блоха. Скорость и квазиимпульс электрона в кристалле. Движение электрона и в кристалле под действием силы. Эффективная масса электрона.

Тема 3.3. **Поверхность постоянной энергии.** Поверхность постоянной энергии. Поверхность Ферми металлов. Плотность состояний электронов в зоне Бриллюэна. Плотность состояний в энергетической зоне.

Тема 3.4. **Статистика электронов в металлах.** Химический потенциал электронов в металлах. Средняя энергия электронов в металлах.

Раздел 4. Тепловые и электрические свойства металлов

Тема 4.1. **Теплоемкость твердых тел.** Классическая теория теплоемкости. Теории теплоемкости Эйнштейна. Теория теплоемкости Дебая.

Тема 4.2. **Тепловое расширение твердых тел. Контактные явления в металлах.** Описание теплового расширения. Решеточный вклад в тепловое расширение твердых тел. Магнитный и электронный вклады в тепловое расширение. Термодинамическая работа выхода. Контакт двух металлов.

Раздел 5. Явления переноса в металлах

Тема 5.1. **Феноменологическое и статистическое описание процессов переноса в твердых телах.** Феноменологическое описание процессов переноса. Постулаты Онзагера. Уравнения переноса в анизотропных средах.

Гиротропия. Функция распределения для электронов в кристалле в неравновесном состоянии. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Решение уравнения Больцмана в приближении времени релаксации.

Тема 5.2. Электропроводность и термоэлектрические явления. Электропроводность металлов. Температурная зависимость электросопротивления металлов. Электросопротивление сплавов. Термо-ЭДС. Статистическое истолкование Эффектов Пельтье и Томсона.

Тема 5.3. Гальваномагнитные явления. Эффект Холла в слабых и сильных полях. Магнетосопротивление.

Тема 5.4. Теплопроводность металлов. Электронная теплопроводность. Закон Видемана-Франца. Фононная теплопроводность.

Тема 5.5. Диффузия в твердых телах. Первый закон Фика. Второй закон Фика. Атомные механизмы диффузии. Эффект Киркендалла. Зернограничная диффузия.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ
Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение	2						
1.1	Описание кристалла в обратном пространстве 1. Ячейка Вигнера-Зейтца. 2. Обратная решетка. 3. Построение зон Бриллюэна.	2					[1,3,4,7,9] [1,3,9] [3,9] [1,3,4,7,9]	
2	Колебания атомов кристалла	8				2		
2.1.	Колебания атомов одномерного кристалла 1. Колебания атомов простой одномерной цепочки. 2. Дисперсионное уравнение. 3. Циклические граничные условия Борна-Кармана.	2					[1,4,7,9,10] [1,4,7,9,10] [1,4,7,9,10] [1,4,7,9,10]	Устный опрос

	4. Колебания атомов одномерной сложной цепочки. 5. Дисперсионное уравнение 6. Акустические и оптические колебания.						[1,4,7,9,10] [1,4,7,9,10]	
2.2	Колебания атомов трехмерного кристалла 1. Уравнение движения атомов кристалла. 2. Акустические и оптические колебания в кристалле. 3. Осцилляторы. 4. Фононы.	2					[1,4,7,9] [1,7,9] [1,4,7,9] [1,4,7,9]]	Устный опрос
2.3	Энергия теплового движения атомов кристалла. Взаимодействие фононов. 1. Расчет спектральной плотности нормальных колебаний по Дебаю. 2. Спектральная плотность нормальных колебаний реального кристалла. 3. Энергия теплового движения атомов кристалла. 4. Взаимодействие фононов.	4				2	[1,4,7,9,10] [1,4,9,10] [4,7,9] [4,7,9]	Решение задач по разделу 2 Контрольная работа №1 (тесты)
3	Электронные состояния в металлах	8				4		

3.1	Классическая электронная теория 1. Достижения классической электронной теории. 2. Недостатки классической электронной теории.	2					[2,3,5,7,9,10] [3,7,9] [3,7,9]	Устный опрос
3.2	Квантомеханическое описание электронов в кристалле 1. Теорема Блоха. 2. Скорость электрона и квазиимпульс электрона. 3. Движение электрона в кристалле под действием внешней силы. 4. Эффективная масса электрона.	2					[1,4,5,7,9]	Устный опрос
3.3	Поверхность постоянной энергии. 1. Поверхность постоянной энергии. Поверхность Ферми металлов. 2. Плотность состояний электронов в зоне Бриллюэна. 3. Плотность состояний в энергетической зоне.	2				2	[2,4,5] [2,5] [2,5] [2,5] [2, 5] [7]	Решение задач (тесты)
3.4	Статистика электронов в металлах 1. Химический потенциал электронов в металлах. 2. Средняя энергия электронов в металлах.	2				2	[2, 5]	Решение задач Контрольная работа №2

4	Тепловые и электрические свойства металлов	4				2		
4.1	Теплоемкость твердых тел. 1. Классическая теория теплоемкости. 2. Теория теплоемкости Эйнштейна. 3. Теория теплоемкости Дебая.	2					[3,4,5,6,7,9]] [3,4,6,7,9] [3,4,,6,7,9]	Устный опрос Реферат
4.2	Тепловое расширение твердых тел. Контактные явления в металлах. 1. Описание теплового расширения 2. Решеточный вклад в тепловое расширение твердых тел. 3. Магнитный и электронный вклады в тепловое расширение. 4. Термодинамическая работа выхода. 5. Контакт двух металлов.	2				2	[3,6,7,9,10] [3,6,7,9] [3,6,7,9] [6,7,9] [6,7,9,10]	Контрольна я работа №3 Решение задач
5.	Явления переноса в металлах	10						
5.1	Феноменологическое и статистическое описание процессов переноса в твердых телах 1. Феноменологическое описание процессов переноса. Постулаты Онзагера. 2. Уравнения переноса в анизотропных средах 3. Гиротропия.	4					[2,3,5,6,8,9]] [2,3,5,6,8,9]] [2,3,5,6,8,9]] [2,3,5,6,8,9]	Устный опрос Реферат

	4. Функция распределения для электронов в кристалле в неравновесном состоянии. 5. Кинетическое уравнение Больцмана. 6. Время релаксации. 7. Решение уравнения Больцмана в приближении времени релаксации.] [5,9] [5,7,9] [3,5,9] [3,5,9]	
5.2	Электропроводность и термоэлектрические явления 1. Электросопротивление металлов. 2. Температурная зависимость электросопротивления металлов. 3. Электросопротивление сплавов 4. Термо-ЭДС. 5. Статистическое истолкование Эффектов Пельтье и Томсона.	2					[5,6,7,9,10] [2,5,6,7,9] [2, 5,6,7,9] [5,6,7,9]	Устный вопрос Реферат
5.3	Гальваномагнитные явления. 1. Эффект Холла в слабых и сильных полях. 2. Магнетосопротивление.	2					[2,5,7,9] [2,5,9]	Устный опрос
5.4	Теплопроводность металлов. 1. Электронная теплопроводность. 2. Закон Видемана-Франца. 3. Фононная теплопроводность.	2					[2,5,9] [5,7,9]	Реферат

5.5	Диффузия в твердых телах. 1. Первый закон Фика. 3. Второй закон Фика. 4 Атомные механизмы диффузии. 5. Эффект Киркендалла. 6. Зернограничная диффузия.	2					[6,8,9] [6,8,9] [6,8,9] [6,8,9] [6,8,9] [6,8,9]	Устный опрос
	Форма текущего контроля							Экзамен

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. М.: Мир. 1988.
2. Брандт Н. Б., Чудинов С.М. Энергетические спектры электронов и фононов металлах. М.: Изд. МГУ, 1980.
3. Горбачев В.В., Спицина Л.Г. Физика полупроводников и металлов. М.: Металлургия, 1982.
4. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980.
5. Бокштейн Б.С. Диффузия в металлах. М.: Металлургия. 1978.
6. Драко В.М., Прокошин В.И., Шепелевич В.Г. Основы фононных и электронных процессов в кристаллах. Минск. 2011.
7. Шепелевич В.Г. Задач и тесты по физике металлов и металловедению. Мн.: БГУ, 2014.
8. Углов В.В., Шепелевич В.Г. Современные функциональные материалы. Мн.: БГУ, 2020.

Перечень дополнительной литературы

1. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин (Измерительные преобразователи). Л.: Энергоатомиздат. 1983.
2. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 1987.
3. Берман Р. Теплопроводность твердых тел. М.: Мир. 1975.
4. Шепелевич В.Г. Физика металлов и металловедение. Лабораторный практикум. Минск: 2013.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устный опрос, контрольные работы, решение задач, защита рефератов.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Физические свойства металлов» учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании оценки текущей успеваемости студента используется оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Текущий контроль знаний по дисциплине проводится во время лекций и по итогам управляемой самостоятельной работы.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать контрольные работы по отдельным темам дисциплины. Оценка результатов контрольных работ проводится в десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости (T) по дисциплине в семестре является средневзвешенной оценкой двух контрольных работ и оценки по реферату:

$$T = (K_1 + K_2 + K_3 + P) / 4.$$

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. На выполнение каждой контрольной работы отводится 45 минут. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие контрольные работы на удовлетворительные оценки.

Рейтинговая оценка (T_P) по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки ($T_Э$) с учетом их весовых коэффициентов:

$$T_P = 0,8 \cdot T_Э + 0,2 \cdot T.$$

При условии, что $T_P \geq 4$, ставится оценка.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

В рамках управляемой самостоятельной работы студент выполняет контрольные работы по темам учебной дисциплины. Контрольные работы проводятся в письменном виде и включают 5-10 вопросов (задач) и расчет коэффициентов, характеризующих физические свойства:

Тема 2. Колебания атомов кристалла.

Студент выполняет тест и решает задачи.

Форма контроля – контрольная работа.

Тема 3. Электронные состояния в металлах.

Студент выполняет тест и решает задачи.

Форма контроля – контрольная работа.

Тема 4. Тепловые и электрические свойства металлов

Студент решает задачи.

Форма контроля – контрольная работа.

По согласованию с преподавателем при подготовке ответа могут использоваться калькуляторы и справочные пособия.

Примерный перечень вопросов контрольной работы

- 1) Колебания атомов одномерных решеток и трехмерного кристалла.
- 2) Статистика фононов, энергия теплового движения атомов кристалла.
- 3) Взаимодействие фононов.
- 4) Динамика и энергия электронов в кристалле.
- 5) Физические свойств (теплоемкость, тепловое расширение, контактные явления) металлов.
- 6) Статистика электронов в металлах.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления. Формой реализации метода может выступать подготовка рефератов и устных сообщений по вопросам, расчетов различных коэффициентов, связанными с изучением физических свойств металлов, практического применения знаний о свойствах материалов. Желательным является применение *метода учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Реализацию метода рекомендуется

осуществлять во время представления кратких сообщений студентов, организовав дискуссию обучающихся, а также в ходе самих лекций. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы, в частности, современных научных публикаций по изучаемым тематикам;
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к экзамену.

Примерный перечень заданий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине

Рекомендуемые вопросы для устного опроса

1. Ячейка Вигнера-Зейтца.
2. Обратная решетка и зоны Бриллюэна.
3. Колебания атомов одномерной и сложной цепочки.
4. Фононы.
5. Спектральная плотность нормальных колебаний.
6. Взаимодействие фононов.
7. Температурная зависимость энергии теплового движения атомов кристалла.
8. Классическая электронная теория.
9. Недостатки классической электронной теории.
10. Функция Блоха.
11. Скорость и квазимпульс электрона в кристалле.
12. Эффективная масса электрона.
13. Плотность состояний электронов в зоне Бриллюэна и в энергетической зоне.

14. Поверхность Ферми.
15. Статистика электронов в металлах.
16. Средняя энергия электронов в металлах
17. Классическая теория теплоемкости.
18. Теория теплоемкости Дебая.
19. Тепловое расширение твердых тел.
20. Контактные явления
21. Постулаты Онзагера.
22. Уравнения переноса в анизотропных средах
23. Гиротропия.
24. Функция распределения для электронов в кристалле в неравновесном состоянии.
25. Кинетическое уравнение Больцмана.
26. Время релаксации.
27. Решение уравнения Больцмана в приближении времени релаксации.
28. Электропроводность металлов.
29. Температурная зависимость электросопротивления металлов.
30. Электросопротивление сплавов.
31. Термо-ЭДС металлов.
32. Эффект Холла.
33. Магнетосопротивление.
34. Электронная теплопроводность.
35. Закон Видемана-Франца.
36. Фононная теплопроводность
37. Первый закон Фика. Уравнение Аррениуса.
38. Второй закон Фика.
39. Атомные механизмы диффузии.
40. Эффект Киркендалла.
41. Зернограничная диффузия

Рекомендуемые темы реферативных работ

1. Гальваномагнитные датчики перемещения.
2. Датчики скорости на основе эффекта Холла.
3. Датчики частоты вращения на основе эффекта Холла.
4. Датчики угла поворота на основе эффекта Холла
5. Датчики крутящего момента на основе эффекта Холла.
6. Материалы для создания преобразователей Холла.
7. Боллометры.
8. Инварные материалы.
9. Материалы для термопар.

10. Термисторы.
11. Биметаллические устройства.
12. Информационный поиск по теме «Датчики крутящего момента на основе Эффекта Холла».
13. Патентный поиск по теме «Датчики перемещения за 1970-2015 г.»

Примерный перечень вопросов к экзамену

Билет на экзамене включает три вопроса, на подготовку которых отводится не менее 45 минут. При подготовке к устному ответу по решению преподавателя допускается использование учебной и научной литературы.

1. Ячейка Вигнера-Зейтца.
2. Обратная решетка и зоны Бриллюэна.
3. Колебания атомов одномерной и сложной цепочки.
4. Фононы.
5. Спектральная плотность нормальных колебаний.
6. Взаимодействие фононов.
7. Температурная зависимость энергии теплового движения атомов кристалла.
8. Классическая электронная теория.
9. Недостатки классической электронной теории.
10. Функция Блоха.
11. Скорость и квазимпульс электрона в кристалле.
12. Эффективная масса электрона.
13. Плотность состояний электронов в зоне Бриллюэна и в энергетической зоне.
14. Поверхность Ферми.
15. Статистика электронов в металлах.
16. Средняя энергия электронов в металлах
17. Классическая теория теплоемкости.
18. Теория теплоемкости Дебая.
19. Тепловое расширение твердых тел.
20. Контактные явления
21. Постулаты Онзагера.
22. Уравнения переноса в анизотропных средах
23. Гиротропия.
24. Функция распределения для электронов в кристалле в неравновесном состоянии.
25. Кинетическое уравнение Больцмана.
26. Время релаксации.

27. Решение уравнения Больцмана в приближении времени релаксации.
28. Электропроводность металлов.
29. Температурная зависимость электросопротивления металлов.
30. Электросопротивление сплавов.
31. Термо-ЭДС металлов.
32. Эффект Холла.
33. Магнетосопротивление.
34. Электронная теплопроводность.
35. Закон Видемана-Франца.
36. Фононная теплопроводность
37. Первый закон Фика. Уравнение Аррениуса.
38. Второй закон Фика.
39. Атомные механизмы диффузии.
40. Эффект Киркендалла.
41. Зернограничная диффузия

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Физика неразрушающего контроля (ч.1)	Кафедра физики твердого тела	Предложений нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 12 от 12.05.2021 г.)
Методы исследования структуры материалов	Кафедра физики твердого тела	Предложений нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 12 от 12.05.2021 г.)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на / учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 2021 г.)

Заведующий кафедрой
физики твердого тела
д.ф.-м.н., профессор

_____ В.В. Углов

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
к.ф.-м.н., профессор

_____ М. С. Тиванов